**칼만 필터의 추정 과정**

**1. 칼만 필터의 기본 개념**

칼만 필터(Kalman Filter)는 **선형 역학 시스템**에서 상태를 추정하는 데 사용되는 알고리즘입니다. 이는 시스템이 잡음이 있는 관측 데이터에서 **정확한 상태**를 추정할 수 있게 해줍니다. **예측(prediction)**과 **업데이트(update)**라는 두 가지 반복 단계로 이루어지며, 측정값과 모델 예측을 결합하여 상태를 추정하는 방식입니다.

칼만 필터는 추정 오차를 최소화하는 방식으로 상태를 갱신하고, 이는 **오차 공분산**을 통해 추적됩니다. 오차 공분산은 칼만 필터가 신뢰도를 얼마나 높게 갖고 추정하는지를 나타내는 중요한 요소입니다.

**2. 추정 과정**

칼만 필터의 추정 과정은 크게 **예측 단계**와 **갱신 단계**로 나누어집니다.

**(1) 예측 단계 (Prediction Stage)**

이 단계에서는 시스템 모델을 사용하여 다음 시간의 상태를 예측합니다.

* **상태 예측**: 이전 상태를 바탕으로 다음 상태를 예측합니다.

여기서 는 -번째 시간에서 예측된 상태, 는 시스템 모델 행렬, 는 입력입니다.

* **오차 공분산 예측**: 다음 상태의 불확실성을 예측합니다.

여기서 는 예측된 오차 공분산, 는 과정 잡음 공분산입니다.

**(2) 갱신 단계 (Update Stage)**

이 단계에서는 새로운 측정값을 받아 상태 추정값을 갱신합니다.

* **칼만 이득 계산**: 칼만 이득 는 예측된 상태와 측정된 상태 사이의 신뢰도를 결정합니다.

여기서 는 측정 모델, 은 측정 잡음 공분산입니다.

* **상태 갱신**: 예측된 상태와 실제 측정된 상태를 결합하여 갱신된 상태 추정값을 계산합니다.

여기서 는 실제 측정값, ​는 예측된 측정값입니다.

* **오차 공분산 갱신**: 상태 추정의 신뢰도를 업데이트합니다.

여기서 는 항등 행렬입니다.

**3. 칼만 이득 (Kalman Gain)**

칼만 이득 ​는 예측된 상태와 측정된 상태를 **결합하는 가중치**입니다. 즉, 얼마나 측정값을 신뢰할지를 나타냅니다. 이를 통해 상태 추정의 정확도를 높입니다.

* **칼만 이득의 역할**:
  + 칼만 이득은 예측과 측정 사이에서 어느 정도 비율로 결합할지를 결정합니다.
  + **칼만 이득이 크면** 측정값에 더 많은 가중치를 부여하여 추정합니다.
  + **칼만 이득이 작으면** 예측값에 더 많은 가중치를 부여합니다.

칼만 이득의 계산 공식은 다음과 같습니다:

* : 측정 모델
* : 측정 잡음 공분산

칼만 이득을 계산하는 데 있어 오차 공분산 ​이 중요한 역할을 합니다. 만약 예측된 상태가 정확하지 않으면, 오차 공분산이 커지면서 칼만 이득도 커져 측정값에 더 많은 신뢰를 둡니다.

**4. 오차 공분산의 계산 및 역할**

오차 공분산 ​는 **상태 추정의 불확실성**을 나타내며, 추정값과 실제값 사이의 차이를 설명합니다. 칼만 필터는 오차 공분산을 지속적으로 관리하여 추정값의 신뢰도를 높여나갑니다.

**(1) 예측 단계에서 오차 공분산:**

이 식은 다음 시간의 상태 예측에서 발생하는 불확실성을 나타냅니다. 즉, 오차 공분산을 예측하는 과정에서 시스템의 잡음과 불확실성을 반영합니다.

**(2) 갱신 단계에서 오차 공분산:**

이 식은 예측된 오차 공분산을 측정값을 반영해 갱신하는 과정입니다. 칼만 이득 가 반영되어, 측정값을 통해 불확실성을 줄이는 방식입니다.

**오차 공분산의 역할:**

* 오차 공분산이 작아질수록 추정값의 신뢰도가 높아집니다.
* 칼만 필터는 예측 단계에서 발생하는 불확실성을 오차 공분산을 통해 관리하며, 새로운 측정값이 들어올 때 이를 반영해 오차 공분산을 줄여나갑니다.

**5. 칼만 필터의 관리 및 유지**

칼만 필터는 오차 공분산을 통해 상태 추정의 정확성을 지속적으로 개선해 나갑니다. 중요한 것은 **잡음 공분산 와 측정 잡음 공분산** 의 설정입니다.

* 와 이 잘못 설정되면, 추정값의 정확도가 떨어집니다.
* 오차 공분산 의 관리가 제대로 되지 않으면, 필터의 성능이 악화될 수 있습니다.

**결론**

* **칼만 필터**는 예측과 갱신을 반복하면서 상태를 추정합니다.
* **칼만 이득**은 측정값과 예측값을 결합하는 가중치로, 오차 공분산을 기반으로 계산됩니다.
* **오차 공분산**은 상태 추정의 불확실성을 나타내며, 칼만 필터의 성능을 관리하는 핵심 요소입니다.